

MAKALAH SEMINAR TUGAS AKHIR

APLIKASI JARINGAN SYARAF TIRUAN RBF (*RADIAL BASIS FUNCTION*) UNTUK PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA SECARA ON-LINE BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA8535

Agus Dani Yudianto¹, Mochamad Facta, ST, MT² Iwan Setiawan, ST, MT²
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia

Abstrak - Jaringan syaraf tiruan dapat digunakan untuk mengendalikan *plant* yang parameter-parameternya tidak diketahui. Namun tidak semua jenis jaringan syaraf tiruan cocok untuk mengendalikan *plant* secara on-line. Setiap jaringan syaraf tiruan memiliki kecepatan untuk beradaptasi yang berbeda-beda tergantung pada struktur jaringan dan algoritma yang digunakan. RBF merupakan salah satu jenis jaringan syaraf tiruan yang dapat digunakan sebagai pengendali *plant* secara on-line.

Pada tugas akhir ini dilakukan pengujian terhadap jaringan syaraf tiruan RBF untuk mengendalikan kecepatan motor induksi tiga fasa secara on-line. Pengendalian dilakukan dengan mengatur tegangan sumber yang masuk ke motor induksi tiga fasa yang dilakukan dengan mengatur sudut tunda pemicuan TRIAC. Pengujian dilakukan pada pengaruh nilai *gain* proporsional, laju konvergensi, pengujian referensi naik, referensi turun dan pemberian gangguan.

Hasil pengujian jaringan syaraf RBF menunjukkan semakin besar laju konvergensi dan *gain* proporsional yang diberikan, semakin cepat waktu naik dan waktu penetapannya. RBF memiliki respon yang cukup baik pada pengujian perubahan referensi dan pemberian gangguan.

Kata kunci : Jaringan Syaraf Tiruan, RBF, ATMEGA8535, Motor Induksi Tiga Fasa

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebuah pendekatan dalam pengendalian sistem yang parameter-parameternya tidak diketahui atau sulit untuk ditentukan dapat dilakukan dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan. Setiap jaringan syaraf tiruan memiliki kecepatan beradaptasi atau konvergensi yang berbeda, tergantung pada struktur jaringan dan algoritma pembelajaran yang digunakan, sehingga tidak semua jaringan syaraf tiruan cocok untuk mengendalikan *plant* secara on-line. RBF (*Radial Basis Function*) merupakan salah satu jenis jaringan syaraf tiruan yang dapat digunakan sebagai komponen pengendali sistem yang parameter-parameternya tidak diketahui atau sulit ditentukan tanpa adanya proses identifikasi terlebih dahulu.

Pada tugas akhir ini dilakukan pengujian terhadap unjuk kerja jaringan syaraf tiruan RBF pada pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa secara on-line. Pengujian dilakukan melalui pengujian pengaruh bobot pembelajaran, pengaruh parameter kendali (*gain*

proporsional dan laju konvergensi), pengujian perubahan referensi dan pemberian gangguan beban lampu pijar. Struktur pengendalian yang digunakan adalah *Fixed Stabilising Controller*. Unit pengendalian yang digunakan untuk mengimplementasikan algoritma kendali dengan jaringan syaraf tiruan RBF adalah mikrokontroler ATMEGA8535 dan menggunakan PC sebagai *monitoring* respon.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah mengaplikasikan kendali jaringan syaraf *Radial Basis Function* (RBF) berbasis mikrokontroler ATMEGA8535 untuk menghasilkan sinyal kendali sudut tunda pemicuan TRIAC yang digunakan untuk pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa.

1.3 Pembatasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. *Plant* yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa 1 HP dengan beban berupa generator DC.
2. Jaringan syaraf tiruan yang digunakan untuk pengendalian adalah jaringan syaraf *Radial Basis Function* (RBF) dengan skema kendali *Fixed Stabilising Controller*.
3. Algoritma yang digunakan untuk pembaharuan bobot jaringan syaraf *Radial Basis Function* (RBF) adalah algoritma *Least Mean Square* (LMS).
4. Instrumen pengendali utama berupa sistem minimum mikrokontroler AVR ATMEGA8535.
5. *Driver* motor induksi tiga fasa menggunakan 3 buah TRIAC yang dipicu oleh mikrokontroler ATMEGA8535 melalui komponen MOC3021.
6. Pengaturan kecepatan putar motor induksi tiga fasa dilakukan dengan mengatur sudut tunda pemicuan TRIAC.
7. Penentuan batasan nilai *gain* proporsional dan laju konvergensi yang digunakan pada pengujian dilakukan secara empiris.
8. Tidak membahas persamaan karakteristik dinamis motor induksi tiga fasa.
9. Pembuatan program bantu *monitoring* respon pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa menggunakan bahasa pemrograman Visual C++ dan melalui komunikasi serial.

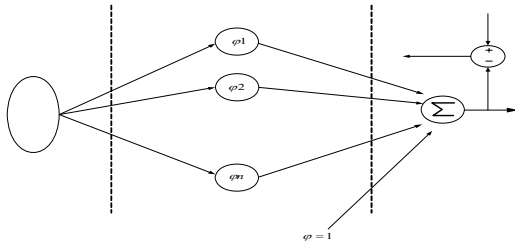
II. DASAR TEORI

2.1 Jaringan Syaraf Tiruan RBF

RBF (ϕ) merupakan fungsi dimana keluarannya simetris terhadap *center* c tertentu atau dinyatakan

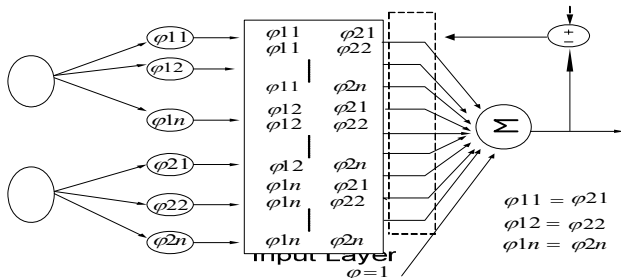
sebagai $\phi_c = \phi \|x - c\|$, dimana $\| \cdot \|$ merupakan vektor normal. Jaringan syaraf yang dibentuk dengan menggunakan fungsi *basis* berupa fungsi *basis radial* dinamakan Jaringan Syaraf RBF.

Jaringan RBF terdiri atas 3 layer yaitu *layer input*, *hidden layer / kernel layer* (unit tersembunyi) dan *layer output*. Masing – masing unit tersembunyi merupakan fungsi aktivasi yang berupa fungsi *basis radial*. Fungsi *basis radial* ini diasosiasikan oleh lebar dan posisi *center* dari fungsi *basis* tersebut. Struktur dasar jaringan RBF ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Struktur dasar jaringan syaraf RBF.

Setiap input dari jaringan syaraf tiruan RBF ini akan mengaktifkan semua fungsi *basis* pada *hidden layer*. Setiap unit dari *hidden layer* merupakan fungsi aktivasi tertentu yang disebut sebagai fungsi *basis*. Di dalam *hidden layer* terdapat sejumlah fungsi *basis* yang sejenis. Setiap fungsi *basis* akan menghasilkan sebuah keluaran dengan bobot tertentu. *Output* jaringan ini merupakan jumlah dari seluruh *output* fungsi *basis* dikalikan dengan bobot masing – masing. Untuk jaringan RBF dengan 2 masukan, proses pemetaannya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Operasi jaringan syaraf RBF dengan 2 masukan.

Setiap masukan akan mengaktifkan setiap fungsi *basis* pada jaringannya sendiri. Misalkan pada operasi masukan $[x_1 \ x_2]$. Masukan x_1 akan mengaktifkan fungsi *basis* pada jaringan RBF pertama, sehingga masukan x_1 akan mengaktifkan fungsi *basis* ϕ_{11} , ϕ_{12} sampai dengan ϕ_{1n} . Masukan x_2 akan mengaktifkan setiap fungsi *basis* pada jaringan RBF kedua, sehingga masukan x_2 akan mengaktifkan fungsi *basis* ϕ_{21} , ϕ_{22} sampai dengan ϕ_{2n} . Langkah selanjutnya adalah melakukan korelasi silang antara setiap fungsi *basis* pada jaringan pertama dengan setiap keluaran fungsi *basis* pada jaringan kedua. Masing – masing hasil korelasi silang antar fungsi *basis* ini kemudian diboboti dengan bobot tertentu yaitu w_{11} , w_{12} sampai dengan w_{nn} . Keluaran jaringan RBF dihitung dengan menjumlahkan seluruh hasil perkalian antara keluaran tiap fungsi *basis* dengan bobotnya sendiri ditambah dengan bobot bias (wb). Fungsi *basis* pada jaringan RBF identik dengan dengan fungsi *gaussian* yang diformulasikan sebagai berikut^[2]:

$$\phi_j = e^{-\frac{\|x - c_j\|^2}{2\sigma_j^2}} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

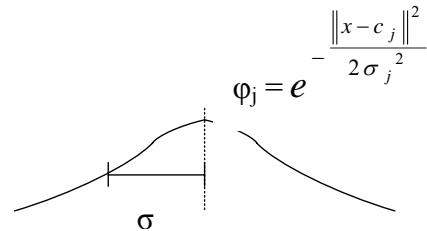
c_j = Center fungsi *gaussian* ke - j

σ_j = Lebar fungsi *gaussian* ke - j

x = Masukan fungsi *basis*

ϕ_j = Keluaran fungsi *basis* ke – j oleh masukan x

Representasi grafis fungsi *gaussian* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Fungsi *gaussian*.

Pada setiap jaringan RBF biasanya digunakan lebih dari 1 buah fungsi *basis*. Tiap – tiap fungsi *basis* mempunyai 1 *center* dan 1 bobot tertentu. Untuk n buah masukan pada jaringan syaraf RBF, maka diperlukan bobot memori yang digunakan pada satu jaringan adalah sebesar (jumlah fungsi *basis*)ⁿ + 1. Satu merupakan bobot bias (wb) dari jaringan syaraf RBF .

2.2 Algoritma Pelatihan RBF secara Iteratif

Algoritma pelatihan jaringan syaraf tiruan RBF secara iteratif adalah sebagai berikut:

Langkah 1: Menentukan jumlah fungsi *basis* yang akan digunakan.

Langkah 2: Menentukan *center* tiap fungsi *basis* dan nilai deviasi.

Langkah 3: Menyediakan bobot sebanyak (fungsi *basis*)ⁿ + 1, dimana n adalah jumlah masukan jaringan syaraf RBF.

Langkah 4: Inisialisasi bobot, $w = [0 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0]$

Set laju konvergensi

Hidden Layer Set gain proposional

Langkah 5: Hitung keluaran tiap fungsi *basis*.

Langkah 6: Untuk setiap sinyal latih kerjakan langkah 6 – selesai

Langkah 7: Hitung keluaran jaringan RBF.

Langkah 8: Hitung kesalahan (*error*) antara sinyal terharap (d) dengan keluaran y , $error = d - y$.

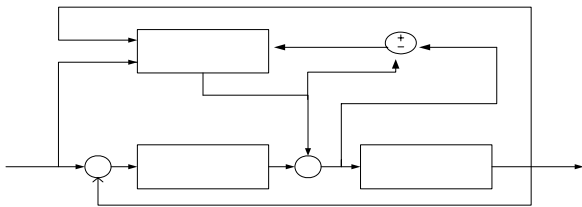
Langkah 9: Hitung sinyal keluaran sinyal kendali (Control_P)

Control_P = Gain proposional * *error*.

Langkah 10: Update bobot-bobot tiap fungsi *basis* dan bobot *basis* dengan metoda LMS.

2.3 Struktur Kendali Fixed Stabilising Controller

Fixed stabilising controller merupakan salah satu arsitektur kendali adaptif yang diusulkan oleh Miller pada tahun 1987 dan Kraft pada tahun 1990^[2]. Blok diagram kendali dengan skema *fixed stabilising controller* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Blok diagram kendali dengan skema *fixed stabilizing controller*. Jaringan Syaraf Tiruan

2.4 Algoritma LMS

Algoritma LMS merupakan salah satu algoritma yang digunakan untuk pembelajaran atau pembaharuan bobot jaringan syaraf. Algoritma LMS mempunyai komputasi sederhana dengan melakukan proses untuk mengoreksi bobot-bobot jaringan yang akhirnya akan meminimalkan fungsi rata-rata kuadrat error. Secara matematis algoritma LMS untuk pembaharuan bobot jaringan syaraf dituliskan sebagai berikut :

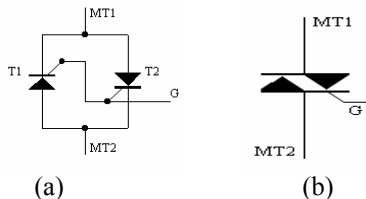
$$w(k+1) = w(k) + \alpha \cdot [d(k) - y(k)] \cdot x(k) \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

- $w(k+1)$: Bobot pada cacah ke k+1
- $w(k)$: Bobot pada cacah ke k
- α : Laju konvergensi ($0 < \alpha < 1$)
- $x(k)$: Masukan yang diboboti
- $d(k)$: Keluaran yang diinginkan
- $y(k)$: Keluaran aktual
- $d(k) - y(k)$: Sinyal *error* yang merupakan data latih

2.5 TRIAC.

Untuk pengendalian fasa pada pengendali tegangan AC, umumnya digunakan *bidirectional triode thyristor* atau yang biasa dikenal sebagai TRIAC. TRIAC dapat bersifat konduktif dalam dua arah. Dalam hal ini dapat dianggap sebagai dua buah *thyristor* tersambung secara antiparalel dengan koneksi gerbang seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Karena TRIAC merupakan komponen *bidirectional*, terminalnya tidak dapat ditentukan sebagai anode/katode.



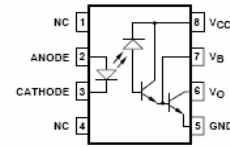
Gambar 5 (a) Rangkaian ekuivalen TRIAC
(b) Simbol TRIAC

Koneksi-koneksinya diberi nama *main terminal 1* (MT1), *main terminal 2* (MT2) dan *gate* atau gerbang (G). Jika terminal MT2 positif terhadap terminal MT1, TRIAC dapat diaktifkan dengan memberikan sinyal gerbang positif antara gerbang G dan MT1. Jika terminal MT2 negatif terhadap MT1, maka TRIAC akan dapat diaktifkan dengan memberikan sinyal pulsa negatif antara gerbang G dan terminal MT1.

2.7 MOC3021

MOC3021 merupakan jenis optokopler dengan sisi keluaran berupa TRIAC yang diaktifkan oleh cahaya pada sisi masukan. MOC3021 dapat diaktifkan dengan arus diatas 15 mA pada sisi masukan.

1. Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP
2. Staf Pengajar Teknik Elektro UNDIP



Gambar 6. MOC 3021

Sinyal Latih

Triac pada MOC berfungsi untuk mengendalikan suatu saklar elektronik yang dapat melewati arus bolak-balik. Keluaran pengganggu ini kemudian dihubungkan dengan TRIAC lain sebagai pengendali tegangan ac yang utama. Keluaran Triac dari MOC tidak dianjurkan untuk langsung berhubungan dengan beban. Keuntungan penggunaan rangkaian terpadu ini adalah menjaminnya keamanan rangkaian pengendali dari pengaruh jala-jala listrik. Hal ini disebabkan terpisahnya aliran arus antara beban dengan rangkaian pengendali oleh pengganggu cahaya didalam MOC.

2.6 Mikrokontroler AVR ATMEGA8535

Latar belakang pemilihan mikrokontroler ATMEGA8535 dalam Tugas Akhir (TA) ini adalah karena kemiripan sifatnya dengan AT89S51/52 dalam hal perangkat keras, kemudahannya diperoleh di pasaran dan kemampuan ATMEGA8535 pada pemrograman dalam sistem (*In System Programming/ ISP*).

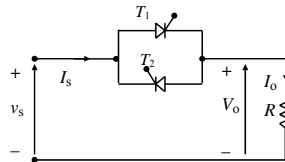
Adapun secara lengkapnya mikrokontroler Atmel ATMEGA8535 ini memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. Arsitektur RISC,
2. 118 instruksi (sebagian besar satu siklus instruksi),
3. 32x8 register kerja serbaguna (R0-R31),
4. 8 MIPS (*Mega Instructions per Second*) pada 8 MHZ
5. *Programmable Flash Memory* sebesar 8 KByte (10000 kali siklus hapus/tulis) dan mempunyai 8 *channel* internal ADC dengan resolusi 10 bit.
6. 512 bytes SRAM dan 512 bytes *Programmable EEPROM* (100.000 siklus hapus/tulis),
7. Jangkauan operasi : 2,7 – 6 Volt,
8. 32 jalur I/O yang dapat diprogram (PORT A-PORT D),
9. Dua Timer/Counter 8 bit dengan *separate prescaler* dan mode *compare*,
10. Satu Timer/Counter 16 bit dengan *prescaler* terpisah yang dapat digunakan untuk mode *compare*, mode *capture* dan *dual* 8,9, atau 10 bit PWM,
11. Sumber interupsi (*interrupt source*) *external* dan *internal*,
12. *Analog Comparator* dalam *chip*,
13. Antarmuka serial SPI *master/slave*,
14. Kanal pengirim-penerima tak serempak universal (USART-*Universal Synchronous and Asynchronous Receiver-Transmitter*) yang dapat diprogram.

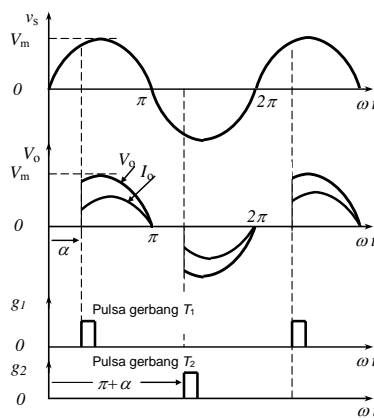
2.9.2 Prinsip Kontrol Sudut Fasa

Prinsip dari kontrol sudut fasa untuk gelombang penuh satu fasa dapat dijelaskan berdasarkan rangkaian

pada Gambar 7. Gambar 7 merupakan pengontrol dua arah satu fasa. Energi mengalir ke beban dikontrol dengan menunda sudut pemucuan (*firing angle*) thyristor T_1 dan sudut pemucuan thyristor T_2 . Selama tegangan masukan setengah siklus positif, daya yang mengalir dikontrol oleh beberapa sudut tunda dari thyristor T_1 , dan thyristor T_2 mengontrol daya selama tegangan masukan setengah siklus negatif. Pulsa-pulsa yang dihasilkan pada T_1 dan T_2 terpisah 180° . Bentuk gelombang untuk tegangan masukan, tegangan keluaran, dan sinyal gerbang untuk T_1 dan T_2 ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 7 Rangkaian pengontrol gelombang penuh satu fasa



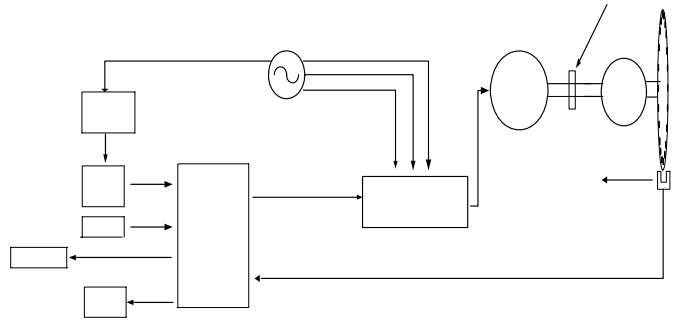
Gambar 8 Bentuk gelombang pengontrol gelombang penuh satu fasa

III. PERANCANGAN

3.1 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras dirancang untuk membentuk sistem pengaturan kecepatan putar motor induksi tiga fasa. Motor induksi tiga fasa tersebut dihubungkan (dikopel) dengan beban berupa generator dc penguatan terpisah. Pengendalian dilakukan dengan memberikan sudut tunda pemucuan TRIAC yang nilainya sebanding dengan nilai sinyal kontrol. Sudut tunda diperoleh dengan menggunakan Timer 16 bit (Timer 1 ATMEGA8535) yang dihitung dari titik persilangan nol (*zero crossing*). Kecepatan putar motor induksi tiga fasa disensor oleh pin T0 mikrokontroler yang berfungsi sebagai frekuensi *counter* dengan waktu cuplik 100 ms.

Diagram blok dari sistem pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dapat dilihat pada gambar 9.



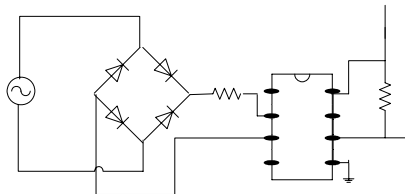
Gambar 9 Blok Diagram Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa

Secara umum perancangan perangkat keras dari alat pengendali kecepatan putaran motor induksi tiga fasa terdiri atas :

1. Motor induksi tiga fasa tipe Sangkar Tupai sebagai *plant* yang dikendalikan dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - a. Daya : 1 HP / 0,75 kW
 - b. Tegangan : 220 / 380 V
 - c. Frekuensi : 50 Hz
 - d. Arus : 3.5 / 2.0 A
 - e. Rpm : 1396
2. *Generator* DC dikopelkan ke Motor Induksi 3 Fasa sebagai beban dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - a. Tegangan Terminal : 125 Volt
 - b. Arus : 2,4 A
 - c. Daya : 1/3 HP
 - d. Rpm maksimum : 1800
 - e. Arus Eksitasi : 1 A
3. Mikrokontroler ATMEGA8535 : digunakan sebagai unit kontroler untuk mengaplikasikan algoritma jaringan syaraf tiruan RBF dan mengirim data kecepatan motor induksi tiga fasa ke komputer untuk di-*monitoring*.
4. *Zero Crossing Detector* adalah rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi gelombang sinus tegangan jala-jala AC 220 volt fasa R ketika melalui persimpangan titik nol.
5. Rangkaian pengontrol tegangan AC 3 fasa : rangkaian yang berfungsi untuk mengendalikan tegangan AC dengan memberi waktu tunda pemucuan TRIAC. Komponen utama pengatur tegangan AC berupa TRIAC dan *optocoupler* MOC3021.
6. Sensor Optokopler : sebagai input sensor dari piringan pada motor ke mikrokontroler (pin T0) yang akan digunakan sebagai umpan balik dari sistem kendali jaringan syaraf RBF.
7. LCD : digunakan untuk menampilkan petunjuk dan beberapa parameter yang digunakan dalam pengendalian kecepatan putar motor induksi tiga fasa serta untuk menampilkan kecepatan motor 3 fasa saat kendali dijalankan.
8. Komputer : sebagai penampil respon dari sistem (proses *monitoring*).

3.1.1 Rangkaian Zero Crossing Detector

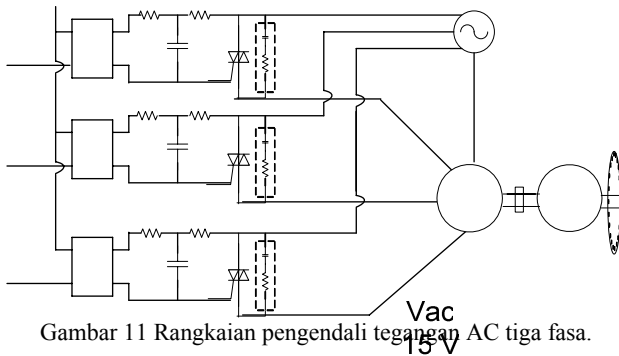
Zero Crossing Detector (detektor persilangan nol) adalah rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi gelombang sinus ac jala-jala 220 V ketika melalui titik persimpangan nol. Persimpangan titik nol yang dideteksi adalah peralihan dari positif menuju negatif dan peralihan dari negatif menuju positif sehingga pada rangkaian digunakan penyearah gelombang penuh. Seberangan-seberangan titik nol ini merupakan acuan yang digunakan sebagai awal pemberian waktu tunda untuk pemucuan Triac. Rangkaian *Zero Crossing Detector* ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Rangkaian Zero Crossing Detector

3.1.2 Pengendali Tegangan AC.

Rangkaian pengendali tegangan AC tiga fasa menggunakan *optocoupler* MOC 3021 diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11 Rangkaian pengendali tegangan AC tiga fasa.

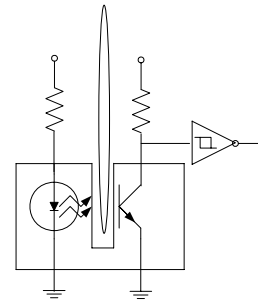
Masing-masing rangkaian pengendali tegangan AC berfungsi untuk mengendalikan tegangan AC gelombang penuh satu fasa. Sebagai komponen pengatur tegangan digunakan TRIAC BTA 16-600. Triac berhubungan langsung dengan beban yaitu motor induksi tiga fasa yang dikopelkan dengan beban generator DC serta berhubungan langsung dengan tegangan jala-jala listrik 220 volt. Sinyal kontrol untuk pemucuan TRIAC berasal dari mikrokontroler. Agar tidak membahayakan bagian yang mempunyai level tegangan rendah (bagian pengontrol), maka digunakan IC MOC3021 untuk pemucuan TRIAC sehingga rangkaian daya dan rangkaian kontrol terpisah secara *optic*. IC MOC 3021 merupakan optoisolator dengan TRIAC output sehingga untuk penggunaannya pada sisi keluaran hanya perlu ditambah resistor yang diseri dengan *gate* TRIAC.

3.1.3 Sensor optokopler

Sensor ini disusun oleh sebuah optokopler dan IC *Schmit Trigger* 7414. Optocoupler dipasang pada piringan sensor *50 nF* terpasang pada motor induksi tiga fasa dan berfungsi sebagai sensor kecepatan. Diantara rangkaian LED dan *phototransistor* dari optokopler diletakkan sebuah piringan sensor 100 lubang. Ketika antara *phototransistor* dan LED mengenai lubang maka

output kolektor akan berlogika *high* dan sebaliknya bila terhalang oleh piringan sensor akan berlogika *low*.

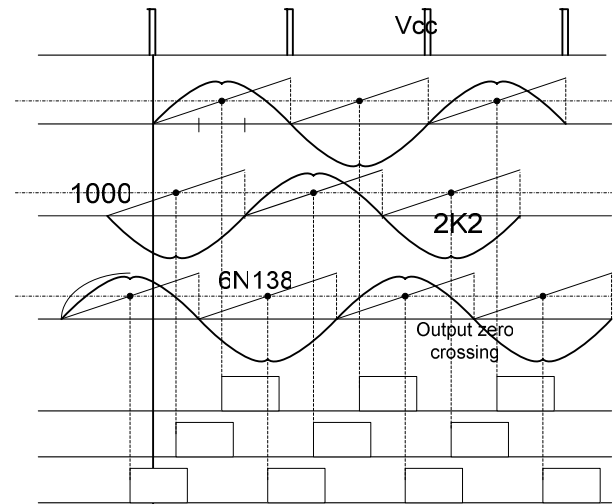
Output dari optokopler dihubungkan ke IC 7414 (*Schmit Trigger*). IC 7414 ini digunakan untuk memperbaiki bentuk keluaran dari optokopler dan dihubungkan ke PORTB.0 yang merupakan input Counter 0 (Pin T0). Pemotongan sensor *infrared* oleh piringan yang berlubang akan memicu *schmit trigger* untuk mengeluarkan output berupa pulsa-pulsa dengan frekuensi yang sebanding dengan besarnya kecepatan motor induksi 3 fasa, yang kemudian pulsa-pulsa ini akan dihitung oleh timer 0 mikrokontroler.



Gambar 12 Rangkaian sensor kecepatan.

3.2 Prinsip Kerja Pengendalian .

Gambar 13 memperlihatkan urutan pemucuan tegangan tiga fasa R, S dan T.



Gambar 13 Sinyal pemucuan TRIAC tiga fasa.

Pemucuan dilakukan setiap setengah siklus gelombang jala-jala dan dihitung dari titik persimpangan nol (*zero crossing detector*). Dengan frekuensi jala-jala 50 Hz maka untuk waktu setengah periode adalah :

$$T = 0,5 \times \frac{1}{f} = 0,5 \times \frac{1}{50} = 0,01 \text{ detik}$$

Mikrokontroler ATMEGA85 yang digunakan mempunyai clock sebesar 4 MHz sehingga mikrokontroler mempunyai waktu untuk satu siklus sebesar 0,25 μ detik. Untuk mencapai nilai 0,01 detik maka diperlukan 40000 siklus sehingga digunakan Timer/Counter 1 (timer 16 bit) yang dapat menjangkau hingga nilai sebesar 65535.

Program untuk pemecutan TRIAC 3 fasa terdiri dari 3 buah rutin yaitu rutin interupsi eksternal 0, interupsi Timer 1 *Compare A* dan interupsi Timer 1 *Compare B*. Pada saat kendali dijalankan, mikrokontroler akan menghitung nilai sinyal kontrol (nilai sinyal kontrol merupakan nilai sudut tunda pemecutan TRIAC). Pada saat mendeteksi adanya interupsi eksternal 0 (input dari *zero crossing detector*) maka program akan menuju rutin interupsi eksternal 0 yang akan mematikan timer 1, mengambil nilai sinyal kontrol dan urutan pemecutan 3 fasa hasil pengolahan sistem kendali setiap 1 siklus sinyal tegangan jala-jala, memasukkan nilai sudut tunda pemecutan pertama ke register OCR1A dan sudut tunda pematian picuan untuk fasa T ke register OCR1B, menolak variabel urut dan urut1 (variabel ini digunakan pada interupsi timer 1 *compare A* dan timer 1 *compare B*) dan mereset nilai timer 1 kemudian mengaktifkan timer 1.

Interupsi timer 1 *compare A match* digunakan untuk menghidupkan pemecutan pengendali tegangan ac 3 fasa. Interupsi timer 1 *compare A* akan dijalankan jika nilai dari timer 1 (TCNT1) sama dengan nilai register OCR1A dimana OCR1A berisi nilai sudut tunda pemecutan fasa yang pertama. Kemudian register OCR1A diisi kembali dengan nilai sudut tunda pemecutan berikutnya. Saat nilai OCR1A sama dengan nilai OCR1A maka akan diaktifkan keluaran pemecutan untuk fasa selanjutnya dan proses kembali berulang sampai ketiga fasa telah dipicu seluruhnya. Selama setengah periode siklus gelombang ac, interupsi ini akan terjadi 3 kali yaitu saat pemecutan fasa R, S dan T. Urutan pemecutan yang dihasilkan sesuai dengan nilai yang diambil saat interupsi eksternal 0. Sinyal pemecutan dimatikan pada bagian akhir dari sinyal masukan masing-masing fasa melalui rutin interupsi timer 1 *compare B*.

3.3 Penentuan Nilai Gain Proporsional

Penentuan besarnya *gain* proporsional secara praktis dibatasi oleh jangkauan sinyal kendali maksimum. Diusahakan sinyal kendali proporsional pada saat awal tidak melebihi 5, karena keluaran maksimum dari kendali jaringan syaraf RBF adalah 5.

3.2 Penentuan Nilai Laju Konvergensi

Besarnya laju konvergensi akan menentukan kecepatan pembaharuan bobot. Jika laju konvergensi yang dipilih relatif kecil, maka laju pembelajaran akan berjalan lambat, sebaliknya bila laju konvergensi yang dipilih terlalu besar akan menyebabkan koreksi yang berlebihan pada bobot-bobot yang diperbaharui.

3.3 Normalisasi Jangkauan Nilai Masukan

Pada tugas akhir ini nilai referensi dan sensor kecepatan dinormalisasi dalam masukan jaringan RBF pada dalam jangkauan 0 – 5. Penentuan jangkauan dari sensor dan referensi ditunjukkan program berikut:

$$ref = ref \times \frac{5}{1500};$$

jangkauan referensi 0-1500 diubah menjadi 0-5

$$kec_motor = frekuensi \times \frac{3}{1500}$$

jangkauan frekuensi putaran motor induksi tiga fasa 0-2500 dinormalisasi menjadi 0-5

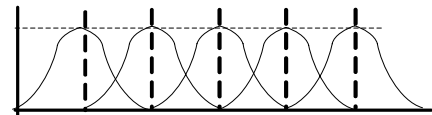
3.4 Penentuan Fungsi Basis pada Jaringan RBF

Secara teoritis jumlah fungsi basis yang dipilih bebas, namun dengan adanya normalisasi tersebut diperlukan batasan jumlah maksimum fungsi basis yang digunakan. Jika jumlah fungsi *basis* yang dipilih terlalu banyak maka lebar fungsi *basis* yang terjadi akan menjadi sangat sempit, sehingga tiap *center* jaringan RBF menjadi berimpitan. Selain itu jumlah fungsi basis juga dibatasi oleh besarnya memori yang dimiliki oleh mikrokontroler.

Dengan mempertimbangkan besarnya memori yang dimiliki oleh mikrokontroler AVR ATMEGA8535, diperoleh jumlah fungsi basis maksimal adalah 5 sehingga jarak antar *center* fungsi basis yang paling kecil adalah sebesar $5/6 = 0.833$. *Deviasi* yang menentukan kelengkungan dari tiap fungsi basis ditentukan dengan persamaan :

$$deviasi = (center[0]/3.05) \dots \dots \dots (3)$$

Secara grafis jaringan syaraf RBF yang dibentuk oleh 5 fungsi basis ditunjukkan pada Gambar 14.

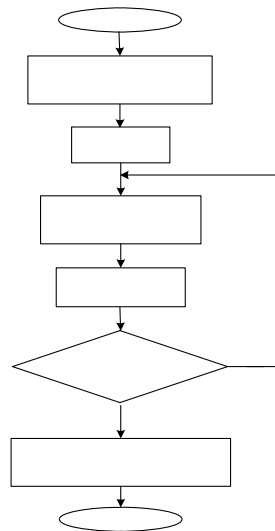


Gambar 14. Grafik jaringan RBF dengan 5 fungsi basis

Pada jaringan RBF, 1 fungsi *basis* mempunyai 1 bobot sehingga jumlah memori yang dibutuhkan untuk menyimpan bobot adalah sebanyak fungsi *basis* yang digunakan + 1. Tambahan 1 memori adalah untuk menyimpan bobot *basis*. Jika digunakan n masukan pada jaringan RBF, maka banyaknya memori yang diperlukan untuk menyimpan bobot adalah sebanyak (jumlah fungsi *basis*)ⁿ + 1.

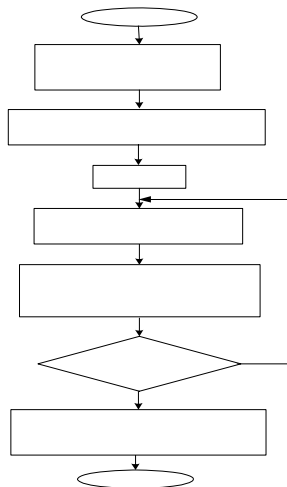
3.5 Perancangan Algoritma Kontrol Jaringan Syaraf Tiruan RBF

Tahap pertama yang perlu dilakukan pada perancangan algoritma kontrol jaringan syaraf RBF adalah merancang jaringan RBF yang akan digunakan. Untuk membentuk jaringan RBF diperlukan lebih dari 1 fungsi basis. Dengan masukan ternormalisasi antara 0 – 5 dan jumlah fungsi basis maksimal yang diperbolehkan adalah 5 (karena keterbatasan memori yang dimiliki mikrokontroler ATMEGA8535), proses perancangan jaringan RBF yang akan digunakan ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 15. Proses perancangan jaringan RBF meliputi inisialisasi rbf (penentuan jumlah fungsi basis yang digunakan, perhitungan *center* dan *deviasi*) dan perhitungan keluaran rbf.



Gambar 15 Diagram alir perancangan jaringan RBF yang digunakan.

Langkah berikutnya adalah menghitung keluaran jaringan RBF terhadap masukan yang diberikan yaitu kecepatan referensi dan kecepatan keluaran dari sensor. Algoritma untuk menghitung keluaran jaringan RBF 2 masukan ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 16. Karena digunakan 2 buah masukan maka digunakan fungsi basis dua dimensi yang merupakan penggambaran hubungan antara nilai fungsi basis referensi kecepatan dan nilai fungsi basis keluaran kecepatan motor.



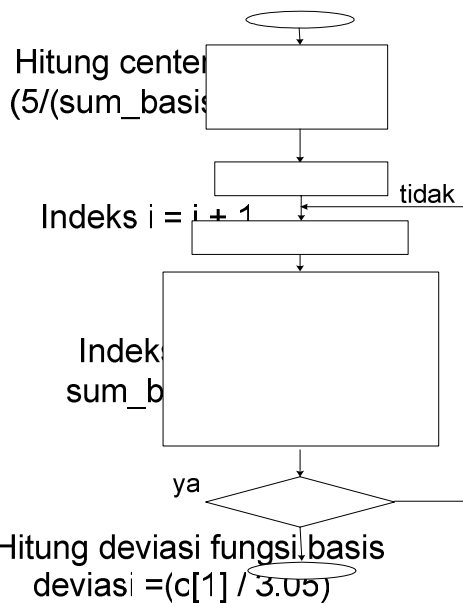
Gambar 16 Diagram alir perhitungan keluaran RBF 2 dimensi.

Proses perhitungan keluaran jaringan RBF 2 dimensi diawali dengan proses pembacaan data masukan yang berupa kecepatan referensi (ref) dan kecepatan *plant* (kec_motor). Kedua masukan tersebut kemudian dinormalisasi pada range 0-5. Setiap masukan akan mengaktifkan jaringan RBF-nya sendiri-sendiri dan menghasilkan keluaran fungsi basis. Setiap keluaran fungsi basis dari jaringan RBF masukan pertama akan dikorelasi silang dengan keluaran fungsi basis dari jaringan RBF masukan kedua. Setiap hasil korelasi antar fungsi basis tersebut diboboti dengan bobot tertentu. Hasil korelasi silang tersebut kemudian dikalikan dengan bobotnya sendiri kemudian ditambahkan dengan bobot basis.

Aplikasi algoritma kontrol jaringan syaraf tiruan RBF secara keseluruhan ditunjukkan oleh diagram alir

1. Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP
2. Staf Pengajar Teknik Elektro UNDIP

pada Gambar 3.17. Proses kontrol diawali dengan *setting* parameter jaringan RBF yang meliputi jumlah fungsi basis yang digunakan, gain proporsional dan laju konvergensi jaringan. Berdasarkan data parameter yang telah diseting, kemudian dirancang jaringan RBF sesuai dengan algoritma yang sudah ditentukan. Sinyal *error* yang merupakan selisih antara kecepatan *plant* dan kecepatan referensi digunakan untuk menghitung keluaran gain proporsional. Di sisi lain, kecepatan *plant* dan kecepatan referensi digunakan sebagai masukan basis (sum_basis). Sinyal kontrol yang dikirimkan ke *plant* adalah penjumlahan dari keluaran jaringan syaraf RBF dan keluaran gain proporsional. Proses selanjutnya adalah pembaharuan (*update*) bobot jaringan dengan menggunakan algoritma LMS menggunakan data latih berupa keluaran gain proporsional.



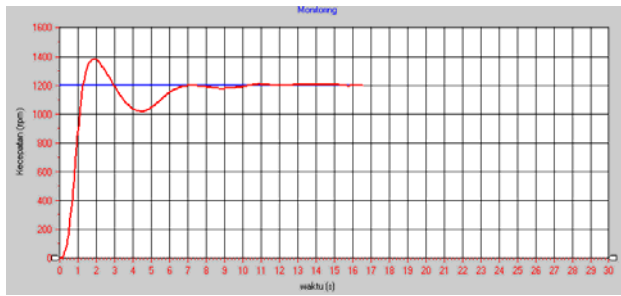
Gambar 17 Diagram alir algoritma kontrol RBF.

IV. PENYIMPANAN, PENGUJIAN DAN ANALISIS

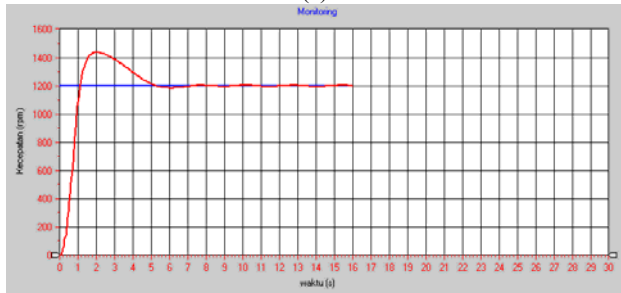
Pengujian jaringan syaraf RBF dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing-masing parameter jaringan syaraf RBF yaitu laju konvergensi, dan *gain* proporsional terhadap dinamika respon *plant* motor induksi tiga fasa. Pengujian juga dilakukan dengan gangguan pembebanan lampu pijar pada sistem untuk menguji kestabilan sistem, dan pengujian terhadap perubahan referensi yang meliputi perubahan referensi naik dan perubahan referensi turun.

4.1 Pengaruh Laju Konvergensi terhadap Transien Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa

Hasil pengujian pengaruh nilai *gain* proporsional pada jaringan RBF diperlihatkan pada Gambar 18 dan Gambar 19.

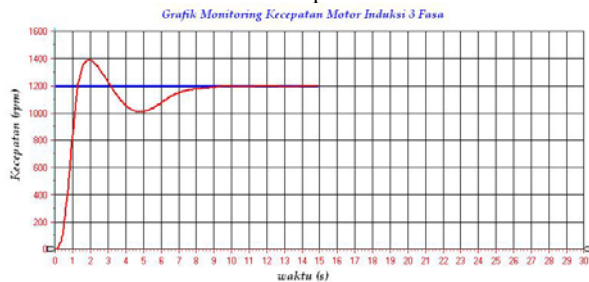


(a)

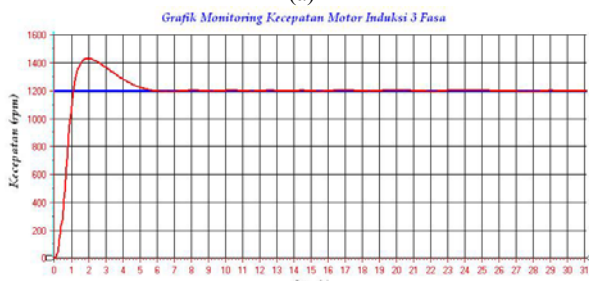


(b)

Gambar 18 Tanggapan transien motor referensi kecepatan 1200 rpm, gain 0.6 dan laju konvergensi 0.5 (a) Bobot awal nol (b) Bobot hasil pelatihan.



(a)



(b)

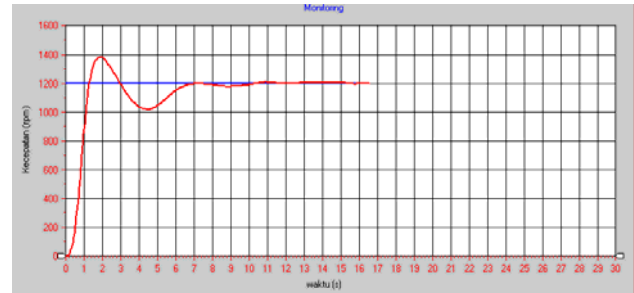
Gambar 19 Tanggapan transien motor referensi kecepatan 1200 rpm, gain 0.6, dan laju konvergensi 0.4 (a) Bobot awal nol (b) Bobot hasil pelatihan.

Tabel 1 Data parameter unjuk kerja sistem pada referensi 1200 rpm terhadap perubahan laju konvergensi.

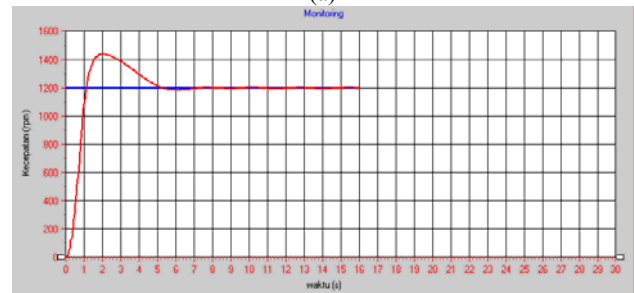
Parameter unjuk kerja	Laju Konvergensi = 0,4 Gain Proporsional = 0,6		Laju Konvergensi = 0,5 Gain Proporsional = 0,6	
	Bobot awal	Bobot hasil latih	Bobot awal	Bobot hasil latih
Waktu Respon	0	0	0	0
Waktu Tunda	0,8	0,7	0,8	0,7
Waktu naik	1,3	1,2	1,4	1,1
Waktu Puncak	1,8	2	2	1,9
Waktu Penetapan	11,5	6,2	9,2	5,6
Overshoot (%)	15,83	20,83	15	15,75
Rasio Redaman	0	0	0	0

4.2 Pengaruh Gain Proporsional terhadap Transien Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa

Hasil pengujian pengaruh nilai gain proporsional pada jaringan RBF diperlihatkan pada Gambar 18 dan Gambar 20 dan Gambar 21.

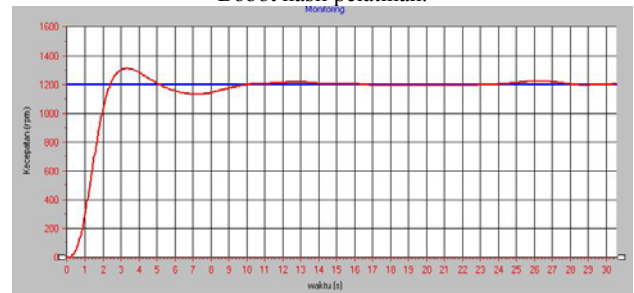


(a)

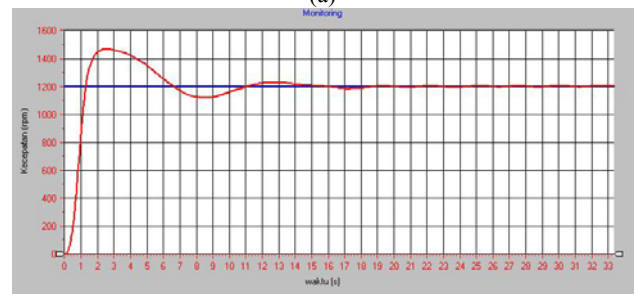


(b)

Gambar 20 Tanggapan transien motor referensi kecepatan 1200 rpm, gain 0.6 dan laju konvergensi 0.5 (a) Bobot awal nol (b) Bobot hasil pelatihan.



(a)



(b)

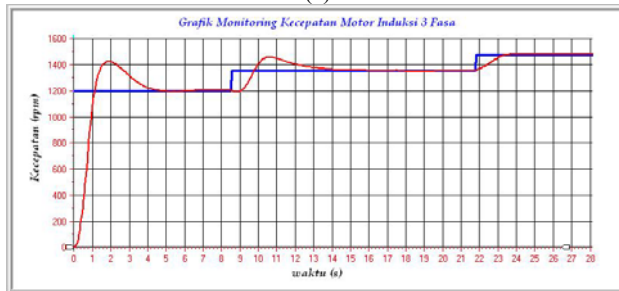
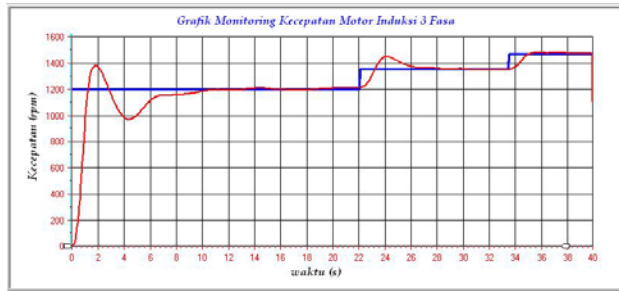
Gambar 21 Tanggapan transien motor referensi kecepatan 1200 rpm, gain 0.4 dan laju konvergensi 0.5 (a) Bobot awal nol (b) Bobot hasil pelatihan.

Tabel 2 Data parameter unjuk kerja sistem pada referensi 1200 rpm terhadap perubahan gain proporsional.

Parameter unjuk kerja	Laju Konvergensi = 0,5 Gain Proporsional = 0,4		Laju Konvergensi = 0,5 Gain Proporsional = 0,6	
	Bobot awal	Bobot hasil latih	Bobot awal	Bobot hasil latih
Waktu Respon	0	0	0	0
Waktu Tunda	1,4	0,8	0,8	0,7
Waktu naik	2,4	1,3	1,4	1,1
Waktu Puncak	3,3	2,5	2	1,9
Waktu Penetapan	16	15	9,2	5,6
Overshoot (%)	8,3	23,33	15	15,75
Rasio Redaman	0	0	0	0

4.3 Pengujian Referensi Naik

Hasil pengujian referensi naik 1200-1350-1470 rpm untuk RBF diperlihatkan pada Gambar 22.



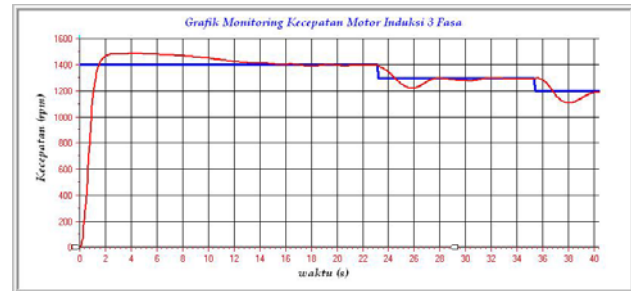
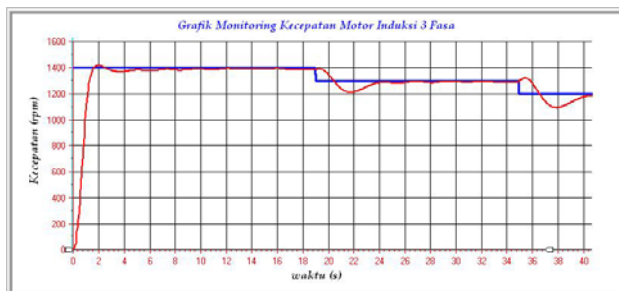
Gambar 22 Pengujian referensi naik dari kecepatan 1200-1350-1470 rpm, gain 0.6, dan laju konvergensi 0.4 (a) Bobot awal nol (b) Bobot hasil pelatihan.

Tabel 3 Data parameter unjuk kerja kontrol RBF terhadap pengujian referensi naik.

Perubahan Kecepatan (rpm)	Laju konvergensi = 0.4, Gain = 0.6			
	Bobot awal nol		Bobot hasil latihan	
	Waktu mencapai titik stabil	Over shoot	Waktu mencapai titik stabil	Over shoot
1200	10,5 detik	15,83 %	4,5 detik	10 %
1350	6,4 detik	7,41 %	6 detik	7,41 %
1470	4,5 detik	0,7 %	1,6 detik	0 %

4.4 Pengujian Referensi Turun

Hasil pengujian referensi turun 1400-1300-1200 rpm pada jaringan RBF di tunjukkan pada Gambar 23.



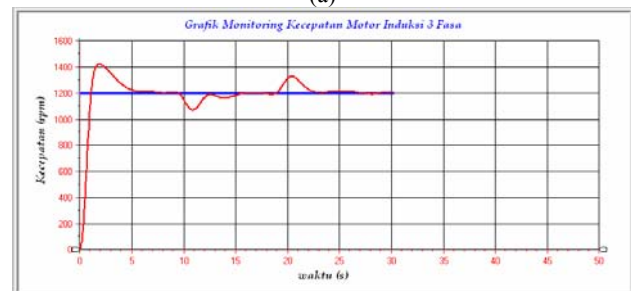
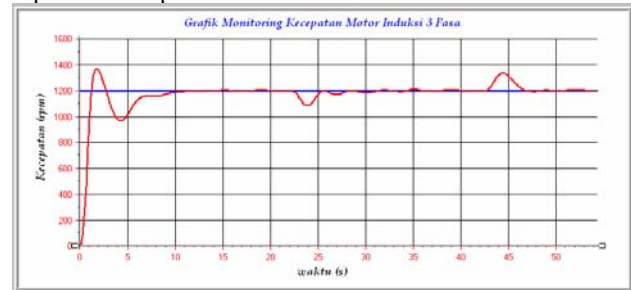
Gambar 23 Pengujian referensi turun dari kecepatan 1400-1300-1200 rpm, gain 0.6, dan laju konvergensi 0.4 (a) Bobot awal nol (b) Bobot hasil pelatihan.

Tabel 4 Data parameter unjuk kerja kontrol RBF terhadap perubahan referensi turun.

Perub. Kecepatan (rpm)	Laju konvergensi = 0.3, Gain = 0.3			
	Bobot awal nol		Bobot hasil latihan	
	Waktu mencapai titik stabil	Under shoot	Waktu mencapai titik stabil	Under shoot
1400	12 detik	-	16 detik	-
1300	5 detik	7,69 %	4,6 detik	6,15 %
1200	5 detik	8,33 %	4,2 detik	6,66 %

4.5 Pengujian Pembebanan

Hasil pengujian pembebanan untuk RBF diperlihatkan pada Gambar 22.



Gambar 24 Pengujian pengaruh pembebanan dengan referensi 1200 rpm, gain 0.6, dan laju konvergensi 0.4 (a) Bobot awal nol (b) Bobot hasil pelatihan.

Tabel 5 Data parameter unjuk kerja kontrol RBF terhadap pengujian gangguan.

Parameter Unjuk Kerja	Laju = 0.4, Gain proporsional = 0.6	
	Bobot awal	Bobot hasil latihan
Overshoot transien	13,33 %	18,33 %
Waktu penetapan	11 detik	6 detik
Penurunan kecepatan	120 rpm	120 rpm
Waktu mengatasi gangguan	9.5 detik	6 detik
Kenaikan kecepatan	140 rpm	120 rpm
Waktu mengatasi gangguan	4 detik	4 detik

V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dan analisis yang dilakukan didapatkan hal-hal penting sebagai berikut:

1. Konverter ac-ac dapat diaplikasikan untuk mengendalikan kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan pengendali jaringan syaraf *Radial Basis Function*.
2. Kendali Jaringan Syaraf Tiruan *Radial Basis Function* dapat diaplikasikan pada mikrokontroler ATMEGA8535.
3. Kestabilan respon keluaran kecepatan motor induksi akan sangat tergantung terhadap pemilihan parameter-parameter kendali jaringan *Radial Basis Function*, yaitu besarnya laju konvergensi dan *gain* proporsional.
4. Laju konvergensi akan mempengaruhi respon transien kecepatan motor induksi tiga fasa yaitu semakin besar nilai laju konvergensi yang digunakan maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kestabilan akan tetapi respon transien akan mengalami *overshoot*.
5. *Gain* proporsional juga mempengaruhi respon transien kecepatan motor induksi tiga fasa yaitu semakin tinggi nilai *gain* yang digunakan maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan referensi.
6. Penggunaan bobot hasil pelatihan pada jaringan *Radial Basis Function* akan menyebabkan respon mengalami lonjakan (*overshoot*) dan juga akan mempercepat waktu naik dan waktu penetapan respon keluaran

5.2 Saran

1. Untuk hasil yang lebih baik, dapat digunakan tiga buah *zero crossing detector* untuk mendeteksi masing-masing fasa dan proses pemecuan fasa dengan 3 buah timer yang tersedia pada mikrokontroler ATMEGA8535.
2. Pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dapat dilakukan dengan metode lain seperti menggunakan inverter PWM (*Pulse Width Modulation*) atau tegangan berbentuk gelombang SQUARE.
3. Pengendalian motor induksi ini dapat dikembangkan lagi dengan menggunakan sistem kendali yang lain, misalnya dengan tipe JST dengan arsitektur kendali yang berbeda atau dengan kendali *Fuzzy*.
4. Perlu adanya penelitian pengendalian dengan menggunakan jumlah fungsi basis *Radial Basis Function* yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Amirudin, Miftahul. "*Kontrol Tegangan Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan B-Spline Untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Secara On-Line*". Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2006.
2. Brown, M., Harris, C. "*Neurofuzzy Adaptive Modelling and Control*". Prentice Hall (UK), 1994.

3. Haykin, Simon. "*Neural Networks- A Comprehensive Foundation*". Macmillan College-Publishing Company Inc, 1994.
4. Iwan, Setiawan, "*Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Aplikasi Pemodelan dan Pengendalian*". Lab. Teknik Kontrol Otomatis UNDIP, Semarang, 2004.
5. Kusumadewi, Sri, "*Artificial Inteligence*". GRAHA ILMU Yogyakarta, 2003
6. Mohan Ned, Tore M. Undeland, William P Robbins, "*Power Electronics: Converter, Applications, and Design*", John Wiley and Sons Inc, Canada, 1995.
7. P. C. Sen, "*Principles Of Electric Machines And Power Electronics, Second Edition*", John Wiley & Sons, USA, 1997.
8. Ogata, Katsuhiko, "*Teknik Kontrol Otomatik (Sistem Pengaturan)*", Jilid 1, Erlangga, Jakarta, 1991.
9. Rashid Muhammad H., "*Power Electronics: Circuits, Devices and Application*", Prentice-Hall International Inc, Second Edition, New Jersey, 1993.
10. Theraja, B.L. "*Electrical Technology*", Nirja Construction & Dev. Co. Ltd, 1980.
11. Wildi, Theodore. "*Electrical Machines, Drives, and Power Systems*". Prentice-Hall International, 1997.
12. www. Atmel.com
13., "*Microcontroller Based Multichannel Light Dimmer*", Department of Electrical and Computer Engineering University of Waterloo. 2001.
14., <http://www.princeton.edu/~kung/ele571/30supervised-BP.ppt>
15., <http://www.nada.kth.se/kurser/kth/2D1432/2004/rbf.pdf>
16., www.computing.surrey.ac.uk/courses/csm10/NeuralNetworks/RBFNetworks.ppt
17., www.icaen.uiowa.edu/~comp/Public/NeuralN.pdf

Agus Dani Yudianto

Lahir di Banjarnegara, menyelesaikan pendidikan menengah atas di SMU N 1 Kroya Cilacap, melanjutkan pendidikan S1 di UNDIP Semarang. Saat ini sedang melanjutkan studinya di jurusan Teknik Elektro dengan konsentrasi Kontrol.

Menyetujui dan mengesahkan

Pembimbing I

Pembimbing II

Moch Facta, ST.MT.
NIP. 132 231 134

Iwan Setiawan, ST.MT
NIP. 132 283 183